

PERBANDINGAN KUAT TARIK LENTUR BETON BERTULANG BALOK UTUH DENGAN BALOK YANG DIPERKUAT MENGGUNAKAN CHEMICAL ANCHOR

Regina Deisi Grasye Porajow
M. D. J. Sumajouw, R. Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado
Email: porajowregina@gmail.com

ABSTRAK

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur cukup besar peranannya dalam memikul beban. Bila beban yang dipikul balok beton bertulang melampaui kapasitas lenturnya, maka balok akan mengalami keruntuhan atau akan terjadi kegagalan struktur. Kegagalan struktur dapat juga disebabkan karena pengalihan fungsi bangunan. Untuk mengatasi masalah kegagalan struktur dapat menggunakan chemical anchor. Dalam penelitian ini digunakan chemical anchor untuk memperkuat balok beton bertulang yang akan diperbesar penampangnya. Kuat tekan yang direncanakan 32 MPa. Dari hasil penelitian didapat nilai slump 120 mm, berat volume rata-rata 2428 kg/ m³ yang dapat digolongkan sebagai beton normal dan kuat tekan rata-rata sebesar 36,67 MPa. Pengujian bonding didapat hasil perhitungan analitis 1,24 kN, hasil uji laboratorium 8,66 kN dan pengujian kuat tarik lentur didapat hasil 105,952 kN menggunakan chemical anchor dan 104,048 kN tanpa menggunakan chemical anchor.

Kata Kunci: balok beton bertulang, *chemical anchor*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang kian pesat sangat berpengaruh pada perkembangan di segala bidang termasuk dalam pembangunan infrastruktur. Pesatnya perkembangan tersebut berdampak pula pada pembangunan fisik, termasuk perombakan bangunan-bangunan lama dan atau pengalihan fungsi bangunan. Hal ini menyebabkan beton banyak digunakan untuk konstruksi bangunan gedung, rumah, jalan raya, jalan kereta api, jembatan, lapangan terbang, pelabuhan, terowongan, dan lain-lain.

Balok beton bertulang merupakan elemen penting dalam suatu struktur bangunan. Hal ini karena balok beton bertulang merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Keruntuhan yang terjadi pada suatu balok dapat memicu terjadinya keruntuhan total struktur. Oleh sebab itu, seiring perkembangan jaman perkuatan struktur balok bertulang sudah mengalami kemajuan. Hal ini terbukti dari penemuan-penemuan seperti chemical contruction yaitu ilmu kimia yang menunjang disiplin ilmu sipil. Ada bermacam inovasi perkuatan struktur saat ini yang telah diteliti antara lain memperpendek bentang dari struktur dengan beton maupun baja,

memperbesar dimensi daripada beton, dan lain-lain.

Kegagalan struktur balok beton bertulang pada gedung dapat disebabkan oleh berbagai faktor antara lain: kesalahan konsep atau desain, kesalahan pelaksanaan atau dapat pula terjadi karena perubahan pemanfaatan gedung atau pengalihan fungsi bangunan.

Masalah-masalah tersebut dapat diatasi dengan suatu perkuatan struktur beton dengan bahan tertentu yang dilakukan berdasarkan jenis kerusakan yang terjadi. Cara yang diambil adalah menggunakan *Chemical Anchor* sebagai salah satu alternative perkuatan struktur. Cara ini dilakukan karena lebih efisien baik dari segi waktu maupun biaya daripada harus membangun kembali gedung tersebut.

Rumusan Masalah

Seberapa besar perbandingan kuat tarik lentur antara benda uji balok yang utuh dengan baol yang diperkuat menggunakan *chemical anchor*.

Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai beban maksimum yang mampu dipikul balok sampai hancur.

Manfaat Penulisan

Manfaat dari penelitian ini adalah :

Memberikan informasi tentang *chemical anchor* sebagai salah satu cara perkuatan struktur pada beton.

Hasil penelitian ini akan menjadi sumber informasi tentang pembuatan benda uji beton yang diperbesar penampangnya dengan cara diberikan cairan perekat kimia.

LANDASAN TEORI

Pengertian Umum Beton

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland, dan air (PBB 1971 N.I.-2). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh faktor air semen dan suhu selama perawatan. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m³.

Tabel 1 Klasifikasi Beton Berdasarkan Berat Massa dan Kuat Tekan

Berat Massa Volume Beton (kg/m ³)	Tegangan Beton (MPa)	Klasifikasi
< 2000	$f'_c 28 \leq 20$	Beton ringan pengisi
	$20 \leq f'_c 28 \leq 50$	Beton ringan struktural
	$50 \leq f'_c 28 \leq 100$	Beton ringan kinerja tinggi
	$f'_c 28 \geq 100$	Beton ringan kinerja sangat tinggi
Berat Massa Volume Beton (Kg/m ³)	Tegangan Beton (MPa)	Klasifikasi
2000 – 3000	$f'_c 28 \leq 60$	Beton normal
	$60 \leq f'_c 28 \leq 120$	Beton normal kinerja tinggi
	$120 \leq f'_c 28 \leq 200$	Beton normal kinerja sangat tinggi
	$f'_c 28 \geq 200$	Beton ringan kinerja ultra tinggi
>3000	$f'_c 28 = 340$	Beton Berat

(Tjokrodinuljo, K, 2003)

Pengertian Umum Balok

Balok adalah bagian dari struktural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang.

Tulangan

Baja tulangan dipasang di dalam cetakan sebelum beton dicor. Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik.

Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu baja tulangan beton polos (BjTP) dan baja tulangan beton sirip (BjTS).

Tabel 2. Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

No.	Penamaan	Diameter Nominal (mm)	Luas penampang nominal (cm ²)	Berat nominal (kg/m)
1	P 6	6	0,2827	0,222
2	P 8	8	0,5027	0,395
3	P 10	10	0,7854	0,617
4	P 12	12	1,131	0,888
5	P 14	14	1,539	1,21
6	P 16	16	2,011	1,58
7	P 19	19	2,835	2,23
8	P 22	22	3,801	2,98
9	P 25	25	4,909	3,85
10	P 28	28	6,158	4,83
11	P 32	32	8,042	6,31

(SNI 07-2052-2002)

Tabel 3. Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip

No.	Penamaan	Diameter Nominal (d)	Luas penampang nominal	Diameter Dalam Nominal (d_o)	Tinggi sirip Melintang		Jarak sirip Melintang (maks)	Lebar rusuk memanjang (maks)	Berat nominal
					min	maks			
1	S.6	6	0,2827	5,5	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S.8	8	0,5027	7,3	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S.10	10	0,7854	8,9	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S.13	13	1,327	12,0	0,7	1,3	9,1	10,2	1,04
5	S.16	16	2,011	15,0	0,8	1,6	11,2	12,6	1,58
6	S.19	19	2,835	17,8	1,0	1,9	13,3	14,9	2,23
7	S.22	22	3,801	20,7	1,1	2,2	15,4	17,3	2,98
8	S.25	25	4,909	23,6	1,3	2,5	17,2	19,7	3,85
9	S.29	29	6,625	27,2	1,5	2,9	20,3	22,8	5,18
10	S.32	32	8,042	30,2	1,6	3,2	22,4	25,1	6,31
11	S.36	36	10,18	34,0	1,8	3,6	25,2	28,3	7,99
12	S.40	40	12,57	38,0	2,0	4,0	28,0	31,4	9,88
13	S.50	50	19,64	48,0	2,5	5,0	38,0	39,3	17,4

(SNI 07-2052-2002)

SikaCim Bonding Adhesive

SikaCim Bonding Adhesive berfungsi untuk menyambungkan beton lama dengan beton baru.

Sistem Perkuatan Struktur Dengan Menggunakan *Chemical Anchor*

Chemical Anchor adalah angkur (*anchor*) yang menggunakan campuran zat kimia untuk keperluan baik untuk penambahan kekuatan agar tahan kondisi seperti air atau air laut dan lain-lain. Mekanisme angkur kimia terdiri dari dua komponen, dimana komponen utama adalah steel anchornya dan yang kedua bahan kimia sebagai pengikatnya. Metodenya, beton yang sudah mengeras terlebih dahulu dilubangi dengan ukuran diameter lubang yang lebih besar daripada baut angkurnya. Sebelum baut angkur dimasukkan ke dalam lubang, diberikan cairan perekat *chemical anchor* guna memberi perekat antara baut dengan betonnya.

Teori Lentur Beton Bertulang

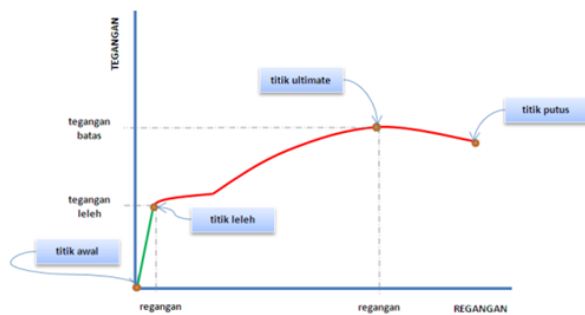
Teori lentur pada beton bertulang didasari pada asumsi-asumsi berikut (berdasarkan SNI beton) :

1. Bidang penampang yang tadinya tegak lurus terhadap sumbu lentur elemen, akan tetap tegak lurus setelah mengalami lentur akibat beban.

2. Regangan pada tulangan sama dengan regangan beton pada serat yang sama (tidak terjadi slip antara beton dan tulangan).
3. Tegangan pada beton atau baja dapat dihitung dari kurva hubungan tegangan-regangan untuk beton atau baja.
4. Untuk perhitungan kekuatan lentur penampang, kekuatan tarik beton diabaikan.
5. Beton diasumsikan runtuh pada saat regangan tekannya mencapai regangan batas tekan, dapat diambil $= 0.003$.
6. Hubungan tegangan-regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapesium atau parabola atau lainnya, sepanjang cocok dengan hasil pengujian yang dapat dipertanggung jawabkan.

Kurva Tegangan Regangan

Jika sebuah benda diberi gaya tarik atau tekan, maka benda tersebut akan meregang (memanjang atau memendek). Namun jika suatu ketika gaya dihilangkan, maka benda tersebut akan kembali seperti semula. Keadaan ini disebut keadaan elastis. Namun ada suatu keadaan dimana jika gaya atau beban yang bekerja pada benda tersebut ditambah besarnya, benda tersebut tidak bisa kembali ke bentuk semula. Keadaan ini disebut sebagai keadaan plastis atau inelastis.



Gambar 1. Grafik Tegangan – Regangan

Pada kondisi awal dimana beban bekerja, perpanjangan akan hilang jika beban dihilangkan. Tapi jika beban terus ditingkatkan sehingga tegangan terus bertambah, maka pada suatu titik atau batas tertentu, perpanjangan tidak bisa dihilangkan seluruhnya atau terjadi regangan permanen. Titik dimana terjadi perpanjangan permanen adalah titik leleh, sedangkan regangan yang terjadi saat titik ini disebut sebagai regangan leleh dan tegangan yang mengakitkannya disebut tegangan leleh.

Saat benda sudah mencapai batas elatisnya (sudah mencapai titik leleh), benda tidak

langsung putus, tetapi mengembangkan regangannya terlebih dahulu hingga mencapai titik batasnya. Titik saat deformasinya sudah mencapai batas disebut titik batas atau titik ultimate. Dimana saat titik ini tercapai, deformasi benda sudah mencapai puncaknya (tinggal menunggu saat untuk putus atau runtuh), tidak ada kenaikan tegangan yang berarti tapi deformasi (regangan) yang terjadi terus bertambah, ini ditunjukkan dengan garis kurva yang turun setelah titik batas tercapai, sehingga sampai suatu titik dimana deformasi (regangan) sudah mencapai putus (runtuhnya). Titik dimana regangan sudah mencapai runtuh (putus) disebut sebagai titik putus atau runtuh, dan regangan yang terjadi disebut sebagai regangan putus atau runtuh.

Jenis Keruntuhan Lentur

Dengan data-data penampang, mutu beton, dan tulangan yang digunakan, ada 3 jenis keruntuhan yang mungkin terjadi:

1. Keruntuhan Tarik (*Under-Reinforced*)

Keruntuhan tarik terjadi bila jumlah tulangan baja vertical sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih besar dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu disebut penampang *under-reinforced*, perilakunya sama seperti yang diperlihatkan pada balok uji yaitu daktail (terjadinya deformasi yang besar sebelum runtuh). Semua balok yang direncanakan sesuai peraturan diharapkan berperilaku seperti itu.

2. Keruntuhan Tekan (*Over-Reinforced*)

Keruntuhan Tekan terjadi bila jumlah tulangan vertical banyak maka keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan bajanya masih elastis, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih kecil dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu disebut penampang *over-reinforced*, sifat keruntuhannya adalah getas (non-daktail). Suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan pertanda bilamana struktur tersebut mau runtuh, sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu.

3. Keruntuhan Balance

Keruntuhan Balance terjadi jika baja dan

beton tepat mencapai kuat batasnya, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) sama besar dengan regangan beton (ϵ_y). Jumlah penulangan yang menyebabkan keruntuhan balans dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangan vertical sedikit atau tidak, sehingga sifat keruntuhan daktail atau sebaliknya.

Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03- 1974-1990 tentang metode pengujian kuat tekan beton, kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur, bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Rumus kuat tekan beton, yaitu :

$$f'_c = \frac{P}{A} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad (1)$$

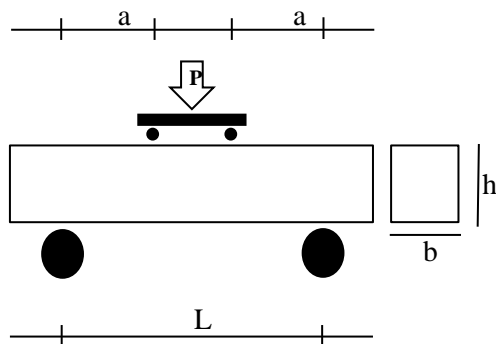
dimana : f'_c = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas Penampang Beton (cm^2)

Kuat Tarik Lentur

Sistem pembebanan pada pengujian tarik lentur seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Pengujian Kuat Tarik Lentur

Dimana :

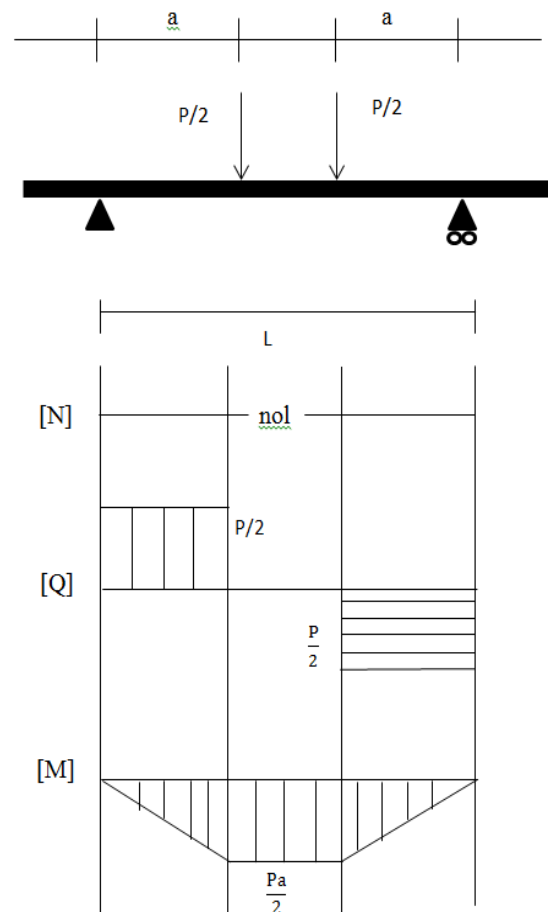
P = Beban pada waktu lentur (kN)

a = Jarak dari perletakan ke gaya (mm)

b = Lebar penampang balok (mm)

h = tinggi penampang balok (mm)

L = Jarak antar perletakan (mm)



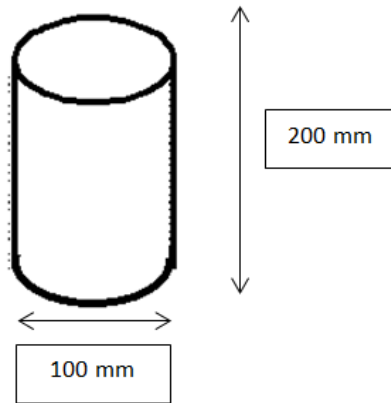
Gambar 3. Perencanaan Pembebanan Pengujian Kuat Tarik Lentur Beserta Gambar Bidang Gaya-gaya Dalam

METODOLOGI PENELITIAN

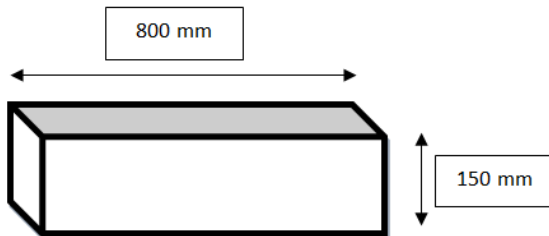
Umum

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Dimulai dari persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standar yang berlaku dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada. Pemeriksaan material dibatasi hanya pada material tertentu yang penting dalam perhitungan campuran.

Dimensi Benda Uji



Gambar 4. Dimensi Penampang Silinder Untuk Pengujian Kuat Tekan



Gambar 5. Dimensi Penampang Balok Untuk Pengujian Kuat Tarik Lentur

Langkah-langkah Pengujian

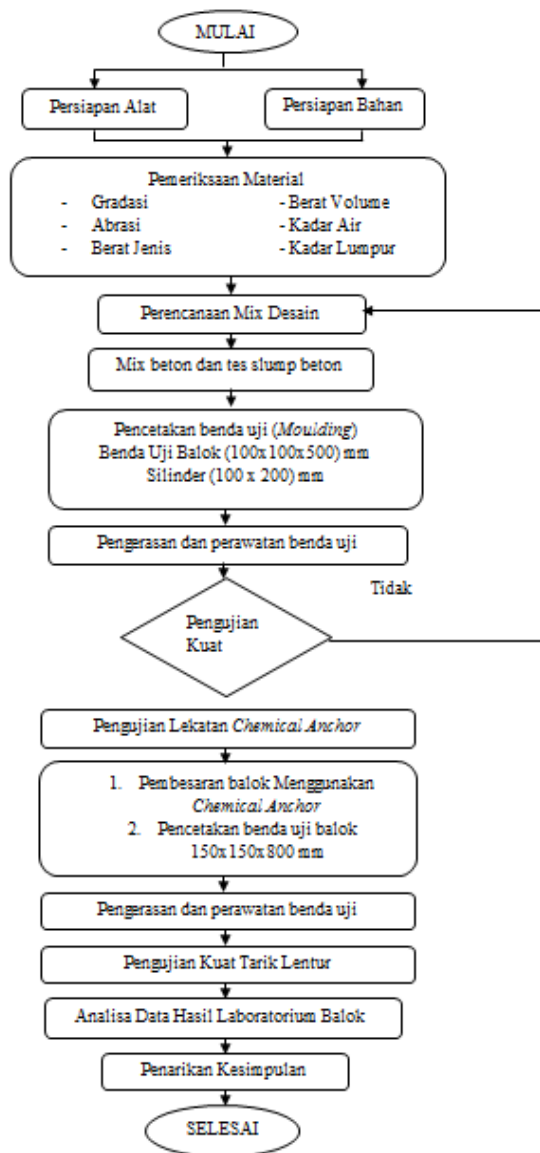
Adapun langkah-langkah pengujian, yaitu :

- Langkah I
Pada tahap ini dilakukan persiapan baik bahan maupun alat yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji beton.
- Langkah II
Pada tahap ini dilakukan pembuatan benda uji. Adapun pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :
 - Pembuatan campuran beton (*mixing*)
 - Pemeriksaan nilai *slump*
 - Pembuatan benda uji
- Langkah III
Pada tahap ini benda uji dilakukan perawatan selama 28 hari, dengan cara dimasukan didalam air, tetapi sebelum dimasukan didalam air benda uji terlebih dahulu di ditimbang.
- Langkah IV
Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap benda uji, pengujian yang dilakukan adalah

pengujian kuat tekan beton. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian beton terlebih dahulu di timbang beratnya.

- Langkah V
Pada tahap ini dilakukan pengujian lekatan atau bounding. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.
- Langkah VI
Pada tahap ini dilakukan pembuatan benda uji balok utuh dan pembesaran benda uji menggunakan chemical anchor. Caranya dengan bor lubang, kemudian bersihkan lubang dari debu dan puing-puing sisa, setelah itu masukkan bahan kimia ke dalam lubang dan ditunggu sekitar satu jam dengan tujuan agar zat kimia tersebut bisa melekat dengan sempurna, kuat dan erat. Setelah kering masukkan tulangan.
- Langkah VII
Pada tahap ini benda uji kembali mengalami perawatan selama 28 hari di dalam air. Tetapi sebelum itu benda uji di timbang terlebih dahulu.
- Langkah VIII
Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap benda uji, pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik beton. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Pengujian dilakukan pada balok utuh 150mm x 150mm x 800mm dan balok 150mm x 150mm x 800mm yang telah menggunakan *chemical anchor*. Sebelum dilakukan pengujian, beton terlebih dahulu ditimbang beratnya.
- Langkah IX
Pada tahap ini dilakukan analisa data. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis sehingga dapat diperoleh berapa besar perbedaan kekuatan pada balok utuh dan balok yang telah menggunakan *chemical anchor*.
- Langkah X
Pada tahap yang terakhir, diambil kesimpulan dari data pengujian yang telah dianalisis yang merupakan inti dari penelitian ini.

Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Nilai Slump

Nilai slump merupakan nilai perbedaan tinggi adukan dalam suatu cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan tinggi adukan setelah cetakan diambil. Menurut SNI 03-2834-2000 untuk f'_c rencana 40 MPa, nilai slump yang digunakan adalah 7-150 mm.

Dalam penelitian ini didapat nilai slump 120 mm. Nilai slump ini diakibatkan dari kadar air yang terdapat dalam agregat saat pengecoran, dimana kondisi agregat akan mempengaruhi jumlah air rencana adukan (menambah atau menyerap air) pada proses pencapaian nilai slump. Bila kondisi agregat cenderung basah

maka dapat menambah air rencana adukan, sebaliknya jika agregat cenderung kering maka akan menyerap air.

Berat Volume Beton

Berat volum beton adalah perbandingan antara berat beton (berat benda uji) dengan volume beton (volume benda uji). Benda uji ditimbang pada saat permukaan benda uji mengering dari rendaman air.

Tabel 2. Berat Volume Beton Rata-rata Pada Umur 28 Hari

f'_c rencana	Uji Kuat Tekan				Uji Kuat Tarik Lentur			
	Berat Benda Uji	Berat Volume Benda Uji	Berat Volume Beton	Berat Volume Rata-rata	Berat Benda Uji	Berat Volume Benda Uji	Berat Volume Beton	Berat Volume Rata-rata
(Mpa)	(Kg)	(m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg)	(m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
40	3.51	0.00157	2235.669		43.71	0.018	2428.333	
40	3.49	0.00157	2222.930	2242.038	43.72	0.018	2428.889	2428.519
40	3.56	0.00157	2267.516		43.71	0.018	2428.333	

Berdasarkan hasil diatas, jenis beton dalam penelitian ini termasuk dalam jenis beton normal karena berat massa volume beton tersebut berada pada interval 2000-3000 kg/m³.

Pengujian Kuat Tekan

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder 100 mm × 200 mm. Hasil pengujian kuat tekan sebagai berikut:

Tabel 3. Kuat Tekan Beton Rata-rata

Hasil Uji Kuat Tekan				
Benda Uji	Berat (kg)	P (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	f_{cr} (Mpa)
1	3.55	272	34.63	36.6766667
2	3.48	294.8	37.53	
3	3.56	297.5	37.87	

Pengujian Lekatan (Bonding)

Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian menggunakan mesin tes merek ENERPAC. Hasil pengujian sebagai berikut :

Benda Uji	T (kN)		
	Hasil Perhitungan Analitis	Hasil Uji Laboratorium	Katalog Hilti HIT-RE 500
1	1.15	8.80	8.6
2	1.22	8.83	8.6
3	1.35	8.34	8.6
Rata-rata	1.24	8.66	8.6

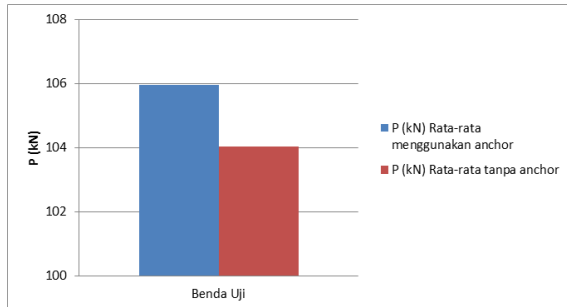
Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dari balok beton bertulang menggunakan mesin tes merek ELE LTD ENGLAND. Dari mesin tersebut diperoleh nilai P pada saat balok mengalami retak awal (beban retak) dan nilai P saat balok mencapai

batas kekuatan (beban maksimum). Hasil dari pengujian di laboratorium sebagai berikut :

Tabel 4. Kuat Lentur Rata-rata

Benda Uji	P (kN)	
	Menggunakan Anchor	Tanpa Anchor
1	98.571	100.000
2	104.286	105.000
3	115.000	107.143
Rata-rata	105.952	104.048



Gambar 6. Perbandingan P (Kn) Rata-rata

Gambar 6 menunjukkan bahwa menggunakan anchor memiliki beban yang lebih besar daripada yang tidak menggunakan anchor. Benda uji yang menggunakan anchor masih lebih kuat menahan beban daripada benda uji yang tanpa menggunakan anchor.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Berat volume beton yang didapat rata-rata 2428 kg/ m³ yang dapat digolongkan sebagai beton normal.
2. Kuat tekan yang direncanakan sebesar 40,5 MPa didapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar 36,67 MPa.
3. Pengujian *bonding* didapat hasil rata-rata berdasarkan perhitungan analitis sebesar 1,24 kN dan hasil uji laboratorium sebesar 8,66 kN.
4. Pengujian kuat tarik lentur didapat hasil P rata-rata menggunakan *chemical anchor* sebesar 105,952 kN dan tanpa *chemical anchor* sebesar 104,048 kN.

Saran

Ada beberapa saran yang perlu disampaikan untuk dijadikan suatu pemikiran yang lebih baik dalam penelitian selanjutnya antara lain :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab nilai P (beban maksimum) menggunakan *chemical anchor* lebih besar dari nilai P tanpa menggunakan *chemical anchor*.
2. Perlu adanya penelitian sambungan anchor dibagian tengah.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1974-1990 tentang “Metode Pengujian Kuat Tekan”.

Badan Standardisasi Nasional, SNI 07-2052-2002 tentang “Baja Tulang beton”

Badan Standardisasi Nasional, SNI 4431-2011 tentang “Metode Pengujian Kuat Tarik Lentur”.

Tjokrodinuljo, K., 2003, *Teknologi Bahan Konstruksi*, Buku Ajar. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nawy.E.G, 1990. Beton bertulang (suatu Pendekatan Dasar), PT. Eresco, Bandung

Departemen Pekerjaan Umum. 1989. Peraturan Beton Bertulang Indonesia, (PBI, 1989).